

# **Възприетата скорост на ротация на тримерни обекти**

Стефан Матеев, Нов български университет

Мирослава Стефанова, Институт по невробиология, БАН

## **Въведение**

В ежедневието често се налага да наблюдаваме тримерни обекти, които се въртят около техните вертикални или хоризонтални оси. Изображенията им върху ретината обаче са двумерни, т.е. плоски. Важна функция на зрителната система е от плоското изображение да извлече характеристиките на реалния тримерен обект. Настоящото изследване е концентрирано върху пътищата, чрез които се извлича признакът бързина на въртене на обекта.

Нека си представим мислено два тримерни обекта - сфери с различен диаметър. Нека те са разположени на едно и също разстояние от наблюдателя и се въртят около вертикалните си оси. Повърхността на сферите е покрита с текстура от случайно разпределени точки, така че въртенето им е ясно видимо. “Бързината” на въртене на всяка сфера може да се опише от: (i) ъгловата скорост на въртене,  $f$ , измервана в обороти за секунда, или в  $^{\circ}/s$ , и от (ii) линейната скорост  $V$  на точките от текстурата, например по екватора, измервана в  $cm/s$ .

Когато сферите се въртят с еднакви ъглови скорости, линейната скорост на по-малката сфера е по-ниска от линейната скорост на голямата сфера. Също така, когато линейните скорости на двете сфери са еднакви, по-малката сфера се върти с по-голяма ъглова скорост. Емпиричният въпрос, който разглеждаме тук, е: кога наблюдателят ще прецени, че двете сфери се въртят еднакво бързо, при еднакви ъглови или при еднакви линейни скорости?

Добър подход за разрешаване на този проблем е да се симулират две въртящи се сфери на дисплей на компютър. Експерименти с такива симулации са провеждани от Kaiser and Calderone (1991) and Petersik (1991). Те установяват, че двете сфери се въртят субективно еднакво бързо тогава, когато ъгловите им скорости, а не линейните, са приблизително еднакви. С други думи, оказва се, че човек е способен да оценява ротационна скорост на обекти, т.е. да оценява признак, който не може да се извлече, или поне не директно, от двумерното изображение на обекта върху ретината. В настоящето изследване ние подхождаме от гледна точка на теорията на константността на възприятието, за да разгледаме тази човешка способност.

Константност на възприятието, в частност на зрителното, може най-просто да се дефинира като способността да се възприемат правилно и по един и същ начин признаци на физически обекти независимо от промените на признаците, които се съдържат в техните изображения върху ретината на окото. Например, правилно преценяваме, че един човек е висок, а друг нисък, независимо от това, че изображението на високия върху ретината ни е с по-малки размери от изображението на ниския, поради това, че високият е по-отдалечен от нас. Физическият размер на самия обект се нарича величина на дисталния (отдалечения) стимул. Физическият размер на изображението върху ретината се нарича величина на проксималния стимул. Казва се, че константността е пълна, или перфектна, когато възприятието съответствува на характеристиките на дисталните стимули. При пълно отсъствие на константност възприятието съответствува на характеристиките на проксималните стимули. Възможни са и междинни нива на константност.

Ние приемаме, че в случая с двете сфери ротационната скорост  $f$  съответствува на величината на дисталния стимул. Линейната скорост на точките в центъра на ретиналното изображение съответствува на величината на проксималния стимул. Казваме, че константността на възприятието е пълна, когато възприетата бързина на ротация съответствува на величината на дисталния стимул. В този случай въртенето на двете сфери ще изглежда еднакво бързо, когато техните ъглови скорости са равни. При пълна липса на константност въртенето на двете сфери ще изглежда еднакво бързо, когато линейните скорости на точките по повърхността им са равни. В този случай възприятието ще се определя изцяло от скоростта на движение на текстурите в ретиналните изображения на обектите.

Перфектна константност може да се очаква при нормални условия на наблюдение, когато всички зрителни признаци за тримерно възприятие са налице. Тогава наблюдателят може да установи, че (1) обектите са тримерни - сфери, (2) те са на еднакви разстояния от него, и (3) една от сферите е например, два пъти по-голяма от другата (по диаметър). Следвайки теорията (виж например Rock, 1983, pg. 241), може да се предположи следното. Зрителната система измерва линейната скорост на текстурите в двете изображения. За тази цел съществуват съответните невронални механизми, на които тук не се спираме. Паралелно с това тя “взима пред вид” горните сведения (1), (2) и (3), за да направи “несъзнателното заключение” (“unconscious inference”), че сферите се въртят еднакво бързо тогава, когато линейната скорост на голямата сфера е два пъти по-висока от линейната скорост на малката сфера. Тук не засягаме въпроса как точно признаците (1) – (3) се използват при сравняването на бързината на въртене на двата обекта, по “разумен” (smart) или по “механичен” (rote) път (Runeson, 1977). Ние си задаваме следните два въпроса. Единият е дали и в каква степен признаците за тримерност се използват,

т.е. се взимат пред вид, при сравнението. Вторият е дали тяхното “взимане пред вид” е единственият процес, който определя изпълнението на тази задача.

Възприятието на тримерен обект от двумерното изображение на дисплея на монитор възниква основно благодарение на явлението, наречено “структура от движение” (structure from motion, виж например Braunstein and Andersen, 1981, 1984). Явлението се основава на два признака за тримерност - промяната, или градиента, на скоростите на точките от текстурата по дължината на паралелите на сферата и градиента на гъстотата на точките по дължината на радиусите на двумерното изображение. Когато симулираните на дисплея сфери не са закрити от нищо, видимостта на тези два признака може, поне по принцип, да предостави необходимата информация за несъзнателно умозаклучение и по този начин да обезпечи пълна константност. Резултатите на Kaiser and Calderone (1991) и Petersik (1991) са в съгласие с това предположение. Но видимостта на градиентите може да се ограничи чрез постепенно закриване на периферията на симулираните изображения. По този начин се намалява впечатлението за тяхната тримерност. Следователно постепенното закриване на симулираните изображения следва постепенно да води до пълна липса на константност. Една от целите на това изследване е да се провери това очакване.

Нека сега си представим симулация не на сфери, а на две движещи се равнини, покрити със случайно разпределени точки. Равнините се наблюдават през кръгли отвори - апертури, като диаметърът на едната апертура е например, два пъти по-голям от този на другата. Когато точките се движат с еднакви скорости, движението в малката апертура изглежда по-бързо. За да се възприемат двете скорости еднакви, се налага да се намали скоростта в малката апертура. Описаното явление се нарича

“транспозиция на скорости” (velocity transposition, виж например Brown, 1931, Wallach, 1987, Ryan and Zanker, 2001).

Ние предполагаме, че транспозицията на скорости може да окаже ефект също и в условия, при които се сравнява бързината на въртене на две сфери. Според нас е възможно следното.

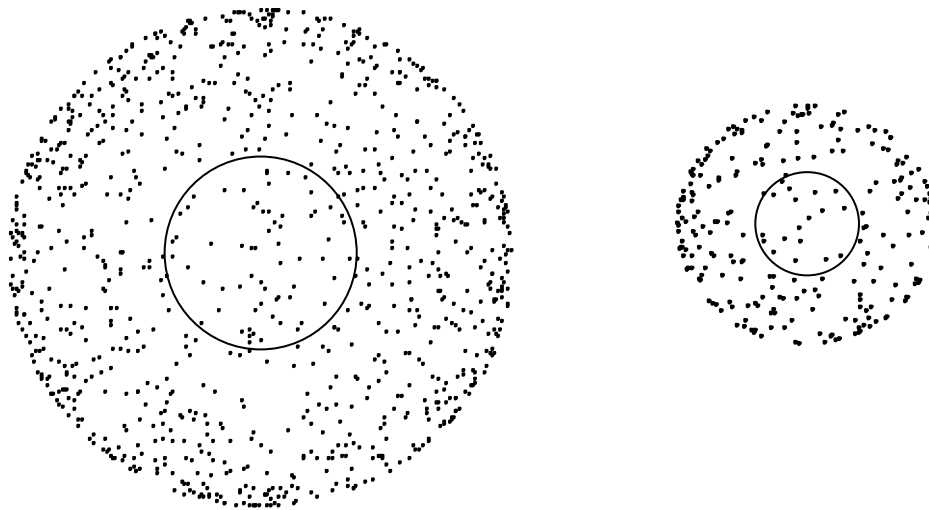
Гореспоменатите градиенти в симулираното изображение изобщо не се взимат пред вид от зрителната система при оценката на бързината на въртене, т.е. сравнението се извършва само на база линейни скорости. Ако е така, би следвало да се получи пълно отсъствие на константност. Но въпреки това, субективна еднаквост на въртенето на двата обекта може и да не се получи при еднакви линейни скорости. Поради транспозицията на скорости, двата обекта може да се въртят субективно еднакво бързо, когато линейната скорост на по-малкия обект е физически по-ниска. Този изход от наблюдението може погрешно да се интерпретира в полза на взимане пред вид признаците за тримерност. Втора цел на изследването е да се определи потенциалния принос на явлението транспозиция на скорости в процеса на сравняване бързината на въртене на симулирани тримерни обекти-сфери.

Проведохме три експеримента с два типа стимули: паралелни проекции на въртящи се сфери и на транслиращи се “равнини”. Стимулите бяха “покрити” с текстура от случайно разпределени точки. Те бяха симулирани на монитор с честота 70 Hz в режим на графиката 640/480 пиксела. В трите експеримента участваха едни и същи 7 лица.

### **Експеримент 1: “Сфери през апертура”**

В този експеримент видимостта на признаците за тримерност, градиентите, в симулирани сфери, беше постепенно ограничавана.

Определяше се степента на константност при задача за сравняване на бързината на въртене на сферите.



**Фиг. 1.** Статична илюстрация на изображенията, използвани в Експерименти 1 и 3. Кръговете илюстрират най-малките апертури,

#### *Стимули и процедура*

Двете сфери бяха представяни едновременно на екрана на монитора за 4 сек. Диаметърът на лявата сфера бе 105.6 mm или 260 пиксела, диаметърът на дясната сфера бе 52.8 mm или 130 пиксела (Фиг. 1) Повърхността на по-голямата сфера бе покрита с 1024 случайно разпределени светли пиксели ( $50 \text{ cd/m}^2$ ); повърхността на малката сфера бе покрита с 256 пиксела. По този начин гъстотата на пикселите в двете изображения бе еднаква.

Експериментът бе проведен в слабо осветено помещение, без видими отражения от екрана. Наблюдението бе бинокулярно, от 114 cm разстояние, без фиксационна точка. Когато стимулите не бяха закрити, всички лица ги възприемаха като въртящи се “топки”. Екранът биваше закриван с маска от черен картон, в която бяха изрязани кръгли отвори – апертури. По-голямата сфера бе закривана от апертури с диаметри 106 (цялата сфера видима), 70, 54 и 40 mm; по-малката сфера бе наблюдавана през апертури, които бяха с два пъти по-малък диаметър. Апертурите бяха винаги

центрирани върху изображенията на сферите, т.е. закриваше се периферията им. По този начин еднакво се ограничаваше видимостта на градиентите на скоростите и на гъстотата на точките в двете изображения.

Изследваните лица имаха за задача да огледат стимулите и да отговорят, с натискане на един от два бутона, коя от двете “топки” се върти по-бързо. Отговор “еднакво бързо” не се разрешаваше.

Лявата сфера бе т.н. “стандартен стимул”, тя се въртеше надясно винаги с една и съща ъглова скорост  $f$  от  $75^\circ/\text{s}$  или 0.208 оборота за секунда. Скоростта на точките по дължината на мисления екватор бе съответно  $V_{\text{СТ}} = \pi df = 69 \text{ mm/s}$ , където  $d = 105.6 \text{ mm}$ , диаметъра на сферата. Това всъщност беше линейната скорост на пикселите в самия център на симулираното изображение. При същата ъглова скорост  $f$  на малката сфера, линейната скорост на пикселите бе два пъти по-ниска, поради два пъти по-малкия диаметър.

Измерването се състоеше в установяването на стойността на тази ъглова (или линейна) скорост на малката сфера, при която двете сфери *изглеждат*, че се въртят еднакво бързо. Тази стойност се нарича точка на субективна еднаквост, и по-нататък ще я означаваме с  $f_{\text{TCE}}$ , съответно  $V_{\text{TCE}}$ . Нейното определяне ставаше чрез “опипване” на голям интервал от скорости, при което ъгловата скорост на дясната, по-малка сфера, се менеше на стъпки от по  $2.5^\circ/\text{s}$ . Използуваше се компютърна програма, която реализираше т.н. метод на двойната стълбица (double-staircase method, Cornsweet, 1962). Това е адаптивен психофизичен метод, основан на следния принцип. Ако изследваното лице даде отговор “малката сфера се върти по-бързо”, то в следващото представяне програмата намалява скоростта с една стъпка. Ако отговорът е “малката сфера се върти по-бавно”, програмата увеличава

скоростта с една стъпка. Рано или късно се достига до стойност на скоростта, при която тези два отговора се дават приблизително еднакво често, т.е. при нея движението на малката сфера се възприема като нито по-бавно, нито по-бързо от движението на голямата или скоростите им са *субективно* равни.

Точното определяне на точката на субективна еднаквост ставаше чрез опцията за probit-анализ (Finney, 1971) на пакета SPSS. Анализът се извършваше върху общо 120 отговора за всяко условие. При едно изследвано лице те се събираха за два експериментални дни. Условиата с четирите апертури бяха рандомизирани при всяко лице и между лицата.

Степента на константност се определяше количествено чрез пресмятане на индекса  $r = V_{TCE}/V_{CT}$ , където  $V_{TCE}$  е линейната скорост на малката сфера при точката на субективна еднаквост в mm/s, а  $V_{CT}$  е линейната скорост на стандарта.

При  $r = 1$  имаме  $V_{TCE} = V_{CT}$  и  $f_{TCE} = 2f_{CT}$ , т.е. изследваното лице отговаря, че сферите се въртят еднакво бързо, когато линейната скорост на малката е равна на линейната на голямата. Следователно, тогава сравнението става въз основа само на линейните скорости и константност липсва.

При  $r = 0.5$  имаме  $V_{TCE} = V_{CT}/2$  и  $f_{TCE} = f_{CT}$ . В този случай изследваното лице отговаря, че сферите се въртят еднакво бързо, когато ъгловата скорост на малката сфера е равна на ъгловата на голямата. В този случай константността е перфектна.

Този индекс е малко необичаен; обикновено се използват индекси, които са равни на единица при пълна константност и на нула при нейното отсъствие. Но ние го възприехме, защото той дава възможност за сравнение между данните от всички



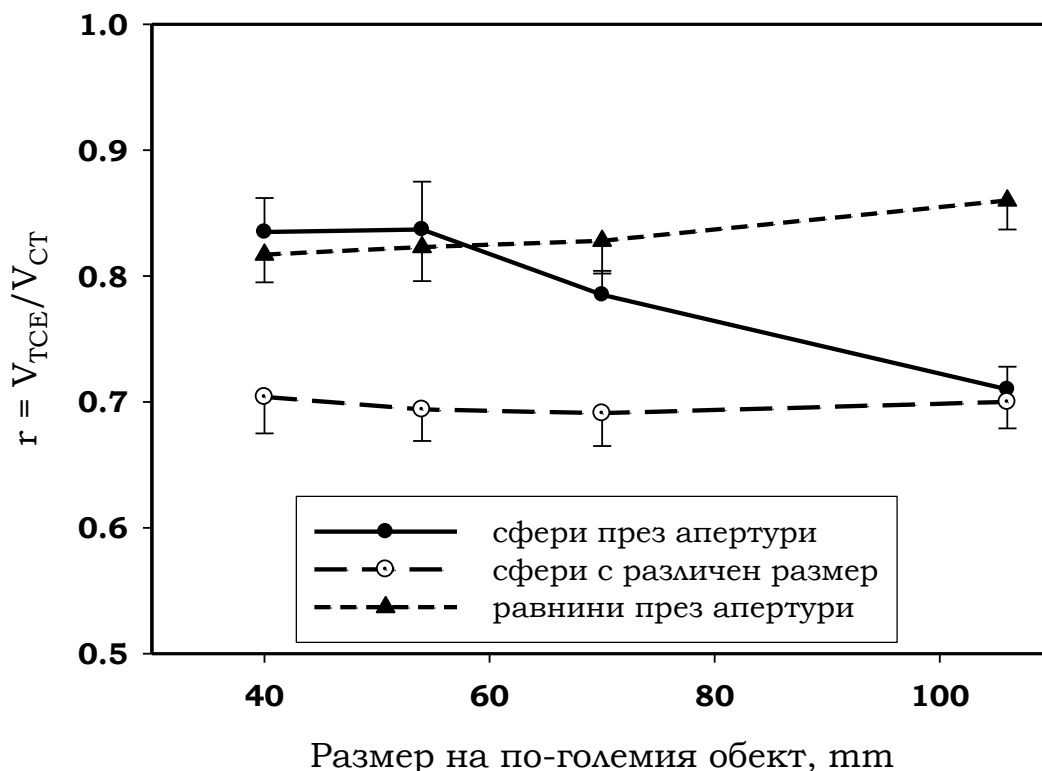
експерименти в това изследване. Без да се впускаме в математически подробности, ще упоменем, че стойността  $r$  не се променя, ако вместо линейните скорости или скоростите на пикселите в центъра на изображенията, в него се заместят средните стойности на скоростите, получени чрез интегриране върху цялата площ на видимата чест от изображенията в апертурите.

### *Резултати и дискусия на Експеримент 1*

На фиг. 2 са показани данни за  $r$ , средни за 7-те лица. Те са между 1 и 0.5;  $r$  намалява значимо ( $F_{3,6} = 12.4$ ,  $p = 0.0001$ ) с нарастването на размера на апертурата.

При най-голямата апертура стойността на  $r$  е средно 0.7. Това означава, че субективно равенство настъпва при линейна скорост на малката сфера  $V_{TCE} = 48.3 \text{ mm/s}$ , която е значимо по-висока от  $V_{ST}/2 = 34.5 \text{ mm/s}$ . С други думи, перфектна константност не се наблюдава, въпреки пълната видимост на признаците за тримерност, градиентите, в изображението. Разликата между емпирично намерената средна стойност на  $r$  и стойността 0.5, охарактеризирана чрез статистическия индекс “сила на ефекта”, е  $ES = 4.2$  стандартни отклонения.

Намерената непълна на константност при оптималните условия в този експеримент не е изненадваща. Перфектна константност може да се очаква в условия, при които се наблюдават реални тримерни обекти и при наличие на всички необходими признаци за дълбочина. Не е такъв случаят при симулация на обекти на плоския екран на дисплей. По-необяснимо е, че от данните на Kaiser and Calderone (1991, стр. 431) може да се пресметне, че  $r$  е



**Фиг. 2.** Абсциса: размер на по-голямата апертура. Ордината: средни стойности на индекса  $r$  от трите експеримента. Представени са интер-индивидуалните стандартни грешки на средните стойности.

бил средно 0.56 т.е. константността в техните експерименти е била значително по-близка до перфектна, отколкото в Експеримент 1. Тъй като стимулите, които са използвали тези автори, са много подобни на описаните по-горе, единственото обяснение засега на това количествено несъответствие е, че при техните изследвания лица процесът на “взимане пред вид” може би е бил по-ефективен, отколкото при нашите.

Същественото намаляване на  $r$  с нарастването на размера на апертурите подкрепя предположението ни, че ограничаването на признаците за тримерност на сферите води до постепенно намаляване на константността. Възможно е обаче, намаляването на размера на стимулираната площ само по себе си да допринася,

поне отчасти, за наблюдаваното намаляване на  $r$ . Тази възможност изисква експериментална проверка.

Най-съществената находка от Експеримент 1 е, че стойността на  $r$  не се получи равна на единица даже и при най-малката апертура. През тази апертура “топки” не се възприемаха, изследваните лица на практика наблюдаваха “плоски” изображения. Тъй като при такива обстоятелства липсват признаци за тримерност, които да се взимат пред вид от зрителната система, следва да се очаква, че субективно равенство ще настъпи тогава, когато линейните скорости на стимулите са еднакви, при  $V_{TCE} = V_{CT}$ . Това обаче, не се получи. При пълно закриване на периферията на стимулите средната стойност на  $V_{TCE}$  бе 57.3 mm/s. Тя е съществено по-ниска от  $V_{CT} = 69$  mm/s, като разликата помежду им, охарактеризирана чрез силата на ефекта, е  $ES = 2.4$  стандартни отклонения. Единственото известно явление, което може да обясни силен ефект, е транспозицията на скорости, която разгледахме във въведението. По всичко личи, че това перцептивно явление участва в процеса на сравняване на двете движения. Ако е така, то възниква въпросът, дали зрителната система въобще взема пред вид признаците за тримерност. Транспозицията на скорости е възможно да зависи от размерите на симулираното изображение, и то по начин, който да обясни намаляването на  $r$  при големи размери на апертурата. Алтернативната възможност е, транспозицията на скорости да оказва един и същ ефект при условията с различни размери на апертурите, и този ефект да се сумира с ефекта, който процесът на взимане пред вид оказва върху стойностите на  $r$ . Тези възможности също изискват експериментална проверка.

## **Експеримент 2 “Сфери с различни размери”**

Целта на този експеримент бе да се провери дали размерът на сферите сам по себе си би повлиял сравнението между ъгловите скорости.

### *Стимули и процедура*

Две сфери бяха представяни едновременно за 4 сек в четири условия. Диаметрите на сферите в тези условия бяха равни на диаметрите на апертурите в условията на Експеримент 1. По този начин, стимулираните полета на дисплея бяха със същите размери както тези в Експеримент 1, но видимостта на признаците за тримерност не беше ограничавана. Лявата сфера отново бе стандартен стимул, тя се въртеше със същата скорост от  $75^\circ/\text{s}$ , приложен бяха същият метод за определяне на точката на субективна еднаквост и за пресмятане на  $r$ .

### *Резултати и дискусия*

Средните стойности на  $r$  за седемте лица са представени във фиг. 2. Вижда се, че при неограничена видимост на признаците за дълбочина стойността на  $r$  не се променя с изменението на размера ( $F_{3,6} = 0.32$ ,  $p = 0.81$ ). При всички условия,  $r$  беше почти същия както и при условието с най-голямата апертура в Експеримент 1. Следователно, размерът на изображенията сам по себе си не играе роля при сравнението на скоростите. Този резултат показва още, че ако ефектите на процеса на взимане пред вид на признаците за тримерност и на транспозицията на скорости се сумират при сравняването, то най-вероятно транспозицията на скорости също оказва един и същ ефект при различните размери на апертурите. В следващият Експеримент 3 това предположение бе пряко проверено.

### **Експеримент 3 “Равнини през апертури”**

Целта на този експеримент бе да се определи ефекта на транспозицията на скорости при условия на същите апертури, както и при Експеримент 1.

#### *Стимули и процедура*

Две “plosки” конфигурации от случайни точки бяха представени за 4 сек. Гъстотата на пикселите бе същата, както и в Експеримент 1. Точките бяха наблюдавани пред същите двойки апертури, както и в Експеримент 1. Скоростта на движение в лявата апертура бе винаги една и съща,  $V_{CT} = 54.5 \text{ mm/s}$  (стандартен стимул). Това бе средната скорост на всички точки на стандартния стимул в Експеримент 1, получена чрез интегриране върху площта на най-голямата апертура.

Задачата на изследваните лица бе да отговорят, кое от двете движения е по-бързо. Скоростта на точките в малката апертура бе варирана по метода на двойната стълбица. Определяше се точката на субективна еднаквост  $V_{TCE}$ , т.е. скоростта в малката апертура, която изглеждаше еднаква със скоростта в голямата апертура. Пресмяташе се отново отношението  $r = V_{TCE}/V_{CT}$ .

Тук стойност  $r = 1$  би означавала пълна липса на транспозиция на скоростите. Тогава двете движения ще са субективно еднакво бързи, когато са и физически еднакво бързи. Съответно ще се получи  $V_{TCE} = V_{CT}$ .

При наличие на транспозиция на скорости, при еднакви скорости движението в малката апертура ще изглежда по-бързо, отколкото движението в голямата. В такъв случай ще се наложи скоростта му да се намали, за да се получи субективно равенство между движенията. Съответно  $V_{TCE}$  ще се получи по-ниска от  $V_{CT}$  и ще имаме  $r < 1$ .

### *Резултати и дискусия*

Резултатите са представени на фиг. 2. При еднакви скорости на движение в двете апертури, изследваните лица отговаряха уверено, че движението в малката е по-бързо, т.е. наблюдаваше се отчетлива транспозиция на скорости. При най-малката двойка апертури субективно равенство се получи при  $V_{TCE} = 43 \text{ mm/s}$ , или при  $r = 0.82$ . Почти същата стойност на  $r$  се получи в Експеримент 1 при тази двойка апертури. Това следва да се очаква, тъй като изследваните лица виждат на практика едно и също при най-малките апертури на Експерименти 1 и 3.

При нарастването на размерите на апертурите стойността на  $r$  не само че не намалява, но даже слабо се увеличава. Това съответствува на известно отслабване на ефекта на транспозицията на скорости при големи апертури. Следователно, явлението в никакъв случай не може да обясни зависимостта на  $r$  от размерите на апертурите, получена в Експеримент 1 (плътната линия на фиг. 2).

### **Обща дискусия и изводи**

Ако само транспозицията на скорости определяше процеса на сравнение между бързината на въртене на двете сфери, кривите за  $r$  на фиг. 2 трябваше да съвпадат независимо от формата им. Те явно не съвпадат; това се подкрепя и от дисперсионен анализ, в който лицата се третират като случаен фактор. Главният ефект на фактора “вид експеримент” върху  $r$  е значим ( $F_{2,6} = 25.9$ ,  $p < 0.0001$ ), взаимодействието между факторите “вид експеримент” и “размер на апертурата” също е значимо ( $F_{6,36} = 15.6$ ,  $p < 0.0001$ ). Стойностите на  $r$  от Експерименти 1 и 3 са еднакви само за най-малките размери на апертурите, когато признаците за тримерност са най-редуцирани. В този случай явно само процеса на транспозиция на скорости определя сравнението на стимулите.

Постепенното откриване на градиентите в Експеримент 1 води до подобряване на константността, като съответно понижава стойностите на  $r$ . Този резултат подкрепя хипотезата за постепенно включване на процеса на “взимане пред вид” на тримерността на обектите. Процесът е явно непълен и не съвсем ефективен, но съвместно с транспозицията на скоростите той може да доведе до сравнения между движенията, които повече да съответствуват на еднакви ъглови скорости.

Имайки пред вид това, количественото несъответствие между нашите данни и тези на Kaiser and Calderone (1991) може да се обясни не само с по-ефективното взимане пред вид на признаците за тримерност в техният експеримент. Възможно е транспозицията на скорости е създавала по-силен ефект.

Транспозицията на скорости е явление, за което се смята, че е тясно свързано с човешката способност да се оценяват и сравняват скорости на обекти, които се движат в равнини на различни разстояния от наблюдателя, т.е с константността на скорост (Wallach, 1939, 1987, Epstein, 1978, Zohary and Sittig, 1993). Тук ние разкриваме друго перцептивно значение на това явление – то допринася за по-правдиви оценки и сравнения между скоростите на въртене на обекти с различен размер.

В заключение, настоящето изследване подкрепя хипотезата, че ефектите от два различни процеса участвуват и се сумират при оценката и сравняването на бързина на въртене на тримерни обекти. Те са: (1) взимането пред вид признаците за тримерност на обектите, и (2) транспозицията на скорости.

## Литература

- Braunstein M L, Andersen G J, 1981 "Velocity gradients and relative depth perception" *Perception & Psychophysics* **29** 145-155
- Braunstein M L, Andersen G J 1984, "Shape and depth perception from parallel projections of three-dimensional motion" *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* **10** 749-760
- Brown J F, 1931 "The visual perception of velocity" *Psychologische Forschung* **14** 199-232
- Cornsweet T, 1962 "The staircase method in psychophysics" *American Journal of Psychology* **75** 485-492
- Epstein W, 1978 "Two factors in the perception of velocity at a distance" *Perception & Psychophysics* **24** 105-114
- Kaiser M K, Calderone J B, 1991 "Factors influencing perceived angular velocity" *Perception & Psychophysics* **50** 428-434
- Petersik J T, 1991 "Perception of three-dimensional angular rotation" *Perception & Psychophysics* **50** 465-474
- Rock I, 1983 "The logic of perception" Cambridge: The MIT Press
- Runeson S, 1977 "On the possibility of 'smart' perceptual mechanisms" *Scandinavian Journal of Psychology*, **18**, 172-179
- Ryan J, Zanker J, 2001 "What determines the perceived speed of dots moving within apertures?" *Experimental Brain Research* **141** 79-87
- Wallach H, 1939 "On constancy of visual speed" *Psychological Review* **46** 541-552
- Wallach H, 1987 "How the transposition principle in speed perception was discovered" *Gestalt Theory* **9** 242-246
- Zohary E, Sittig A C, 1993 "Mechanisms of velocity constancy. *Vision Research* **33** 2467-2478